

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖАРОПРОЧНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Попова М.А., Нарыгина И.В., Степанов С.И., Петрова К.И.

Руководитель – доц., к.т.н. Демаков С.Л.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург,
m.a.popova@ustu.ru

Проведение стандартных термических обработок для жаропрочных титановых сплавов с пластинчатой структурой не позволяет получить удовлетворительных пластических характеристик материала при испытаниях при комнатной температуре. Преимущественно такая низкая пластичность ($\delta \sim 3 \dots 5$ % для сплавов, старенных в интервале температур $550 \dots 700$ °С) обусловлена формированием высокодисперсных частиц α_2 -фазы, которые относительно равномерно выделяясь в теле α -зерен, оказывают блокирующее действие для движения дислокаций.

Жаропрочные сплавы титана при комнатной температуре содержат преимущественно α -фазу, в которой возможны выделения частиц алюминидов и силицидов. Объемная доля β -фазы обычно не превышает несколько процентов ($3 \dots 5$ %) и она, как правило, практически не влияет на механические свойства. Поэтому представляет интерес получить в процессе проведения высокотемпературной обработки сплав, в котором α -фаза будет неоднородна по составу так, чтобы в отдельных ее областях (обогащенных по алюминию) было возможно провести выделение алюминидов, а в других областях (обедненных по алюминию) – нет. Как следствие выделение частиц α_2 -фаза в обогащенных областях будет способствовать повышению прочности и сопротивлению ползучести сплава, при этом обедненные области обеспечат некоторый запас пластичности сплава при достаточно высоких характеристиках жаропрочности.

В работах Ивасишина О.М., Пумпянского Д.А. на сплавах с коэффициентом β -стабилизации более 0,6 было показано, что при скоростных нагревах сплавов в однофазную β -область или кратковременных выдержек в этой области фиксируется неоднородность состава высокотемпературного β -твердого раствора, которая обуславливает при последующем охлаждении сплавов формирование целого спектра фаз также неоднородных по составу. В связи с этим представляло интерес изучить влияние неравновесности состава β -фазы за счет сокращения времени выдержки при температурах β -области в ходе высокотемпературной обработки жаропрочного титанового сплава в

отличие от применяемого времени выдержки в стандартном режиме термической обработки.

Материалом исследования служили горячекатаные прутки диаметром 22 мм с исходной пластинчатой структурой из опытного сплава системы Ti-8,3Al-2,2Zr-2,1Mo-0,2Si-0,3Fe. Схема термической обработки полуфабрикатов включала в себя нагрев прутков в β -область до температуры 1100 °С с выдержками в течение 10 минут и 60 минут и охлаждением на воздухе и последующее старение в диапазоне температур 500...700 °С с шагом 50 °С и выдержками до 85 часов.

Основными методами исследования служили оптическая металлография, РЭМ и ПЭМ, МРСА, РСФА, микродюрометрия, проведены испытания на растяжение.

Установлено, что варьирование параметров обработки в β -области при 1100 °С, в частности продолжительности выдержки, приводит к формированию типичной для псевдо- α -сплавов пластинчатой ($\alpha+\beta$)-структуры. При этом как по морфологии структурных составляющих, так и по распределению химических элементов в твердом растворе α -матрицы при длительной выдержке 60 минут структура является однородной, а при кратковременной выдержке 10 минут – неоднородной. Так согласно данным МРСА разница концентраций по алюминию в различных областях α -фазы при выдержке 60 минут изменяется в пределах 0,2 %, а при выдержке 10 минут может достигать 1,0 %.

Определено, что в случае исходной неравновесной структуры сплава, созданной кратковременной обработкой в β -области и последующим охлаждением на воздухе, при относительно низких температурах старения (до 600 °С) в пересыщенном α -твердом растворе происходит гомогенное превращение и образование упорядоченных относительно крупных областей α_2 -фазы.

Повышение температуры старения свыше 600 °С приводит к смене механизма $\alpha \rightarrow \alpha_2$ -превращения, и зарождение упорядоченной фазы происходит по гетерогенному механизму.

Показано, что одновременно с образованием упорядоченной α_2 -фазы в зависимости от температурно-временных параметров обработки в сплаве возможно выделение силицидных частиц трех различных типов S_1 , S_2 и S_3 . При низких температурах старения (до 600 °С) происходит выделение силицидов $(Ti,Zr)_5Si_3$ на межфазных α/β границах (силицид S_1). С увеличением температуры старения в результате обогащения силицидов S_1 атомами циркония возможна их трансформация в силициды $(Ti,Zr)_6Si_3$ (S_2) и $(Zr,Ti)_2Si$ (S_3).

Увеличение продолжительности выдержки при обработке в β -области от 10 минут до 60 минут способствует смещению температурно-

временных интервалов выделения интерметаллидных фаз в большую сторону. Так процесс гомогенного образования α_2 -фазы становится вялотекущим, а начало выделения видимых частиц алюминидов α_2 и силицидов S_1 в сплаве, испытывавшем кратковременную выдержку в β -области, зафиксировано при обработках 550 °С, 85 часов и 600 °С, 10 часов соответственно, тогда как в сплаве, испытывавшем длительную выдержку в β -области, при обработках 600 °С, 10 часов и 600 °С, 25 часов соответственно.

Изменение структуры сплава в ходе упрочняющей термической обработки закономерным образом влияет и на изменение механических свойств.

Установлено, что сплав после кратковременной выдержки в β -области и старения в интервале температур 500...600 °С обладает повышенными пластическими характеристиками, а после старения при 700 °С примерно одинакового уровня пластичностью по сравнению со сплавом, испытывавшим длительную выдержку в β -области (табл. 1).

Табл.1. Результаты механических испытаний

Режим термической обработки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ψ , %
1100 °С, 10 мин., воздух + 500 °С, 25 ч.	1025	900	9,1	14,1
1100 °С, 10 мин., воздух + 600 °С, 25 ч.	1020	950	5,5	9,6
1100 °С, 10 мин., воздух + 700 °С, 25 ч.	1015	965	4,9	9,0
1100 °С, 60 мин., воздух + 500 °С, 25 ч.	955	880	5,0	8,5
1100 °С, 60 мин., воздух + 600 °С, 25 ч.	995	975	4,5	4,5
1100 °С, 60 мин., воздух + 700 °С, 25 ч.	1025	975	4,8	9,4

При этом прочностные свойства такого сплава после старения на 500 °С выше, а на 600 °С временное сопротивление разрыву также больше, при меньшем значении условного предела текучести. Большая разность значений σ_B и $\sigma_{0,2}$ в сплаве, состаренном при 600 °С, свидетельствует о большей склонности сплава после кратковременной выдержки в β -области к деформационному упрочнению по сравнению со сплавом, испытывавшем длительные выдержки в однофазной области и, по нашему мнению, косвенно является следствием большего количества областей α_2 -фазы, образовавшихся по гомогенному механизму.

Повышение температуры старения до 700 °С приводит к смене механизма образования алюминида титана и свойства выходят на один уровень вне зависимости от первоначальной обработки в однофазной области.

Работа выполнена при финансовой поддержке молодых ученых УрФУ в рамках реализации программы развития УрФУ.